美國國家植物種原系統(NPGS)參訪介紹

農試所遺傳生技組 林延諭 曾馨儀

一、前言

美國農業部(United States Department of Agriculture, USDA) 農業研究署 (The Agricultural Research Service, ARS) 下轄的國家植物種原系統 (National Plant Germplasm System，NPGS) 為全球規模最大的植物遺傳資源保存體系之一，主要負責植物遺傳資源的收集、保存、評估與分贈，確保種原的長期可利用性，以支持農業研究與產業發展。NPGS目前共保存近60萬份種原，涵蓋超過16,300物種，每年分贈超過20萬份種原，廣泛應用於學術研究、品種改良及教育等領域。NPGS於美國19個州設立22個基因庫，主要考量植物的生長環境需求、歷史發展、管理效率與種原長期安全性(圖一)。這些基因庫分工明確，根據當地的氣候與農業需求，負責特定作物的保存與繁殖。本次參訪地點為位於科羅拉多州柯林斯堡 (Fort Collins) 的國家遺傳資源保存實驗室 (National Laboratory for Genetic Resource Preservation, NLGRP)，其主要任務為 NPGS所有保存單位提供種原的安全備份 (safety duplication)，目前NPGS保存種原中，約有80%已於NLGRP完成備份，保存超過50萬份種原。除了種子庫 (-18℃) 保存之外，更發展組織培養及液態氮超低溫保存技術 (-196℃)，特別針對難以低溫保存的無性繁殖作物。另一個參訪單位為喬治亞州格里芬 (Griffin, GA) 的植物遺傳資源保存單位 (Plant Genetic Resources Conservation Unit, PGRCU)，主要負責豆類、蔬菜、雜糧、牧草及甘藷等植物的保存、繁殖與分贈，總計約保存10萬份種原。其中，甘藷等無性繁殖作物採用組織培養方式保存，以確保其遺傳穩定性與長期利用價值。

作　　者：林延諭助理研究員
連絡電話：04-23317813

二、種原保存與發芽率檢測

NLGRP種子庫保存溫度為-18℃，目前保存約50萬份種原，最大保存容量可達150萬份 (圖二)。NLGRP不僅是NPGS內各基因庫的主要備份中心，也為國際機構提供種原備份服務。目前NPGS約80%的種原已備份於此。此外，NLGRP亦保存受植物品種保護法 (plant variety protection, PVP) 保障的種原，該類種原於20年品種權到期後便可轉為一般種原並開放分贈，為農業研究及品種改良提供多樣化的基因來源。例如，本所育成

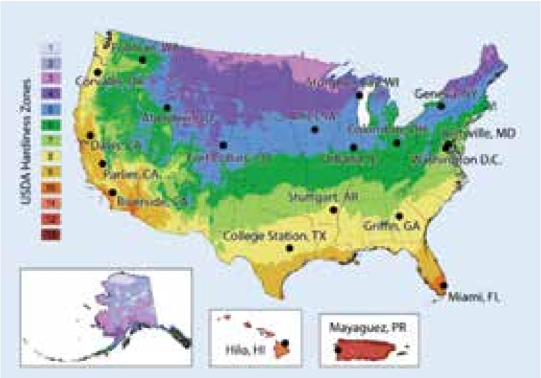
的高油酸落花生品種「台農11號」，即是透過引入PVP保護期已結束的高油酸種原作為親本，與國內品種雜交選育而成。

為防止種子受潮影響後續保存與發芽率，NLGRP於接收種子至重新包裝完成前，會先將其暫存於5℃、相對溼度24%的冷藏庫內。在此期間，種子將依序進行登記、測重，並取出部分樣本進行發芽率檢測。種子發芽率檢測是種原保存的重要環節，檢測條件與方法依據美國官方種子分析協會 (Association of Official Seed Analysts , AOSA) 出版的種子檢測指引 (AOSA rules for testing seeds) 種子發芽率低下，可能受休眠、活力不佳、未成熟、硬殼等因素影響。因此，若檢測結果顯示發芽率偏低，則需進一步釐清原因，以選擇適當的處理方式。其中，四唑檢定法 (Tetrazolium test, TZ) 是NLGRP常用於判定未發芽種子是否因失去活力或處於休眠狀態的標準方法。此法透過 2,3,5-氯化三苯基四唑 (2,3,5-triphenyltetrazolium chloride, TTC) 染色來分析細胞活性，判斷的標準亦依據AOSA指引 (圖三)。

根據NLGRP的經驗，許多野生近緣種的種子常處於休眠狀態，必須先打破休眠，方能準確檢測發芽率。NLGRP常用的方法包括低溫處理、GA處理、KNO_3處理等。對於尚未建立明確發芽條件的物種，通常需查詢文獻或進行獨立試驗，並透過模擬該種原蒐集地的環境條件測試打破休眠的方法，所有檢測結果皆會登錄於資料庫。NLGRP不僅監測起始發芽率，亦會於種子保存15-20年後，再次檢測其發芽率，若發芽率下降至臨界標準，NLGRP將通知該種原的原始保存基因庫，請求提供更新的種子進行備份，或將該種原列入待繁殖的清單。

三、超低溫液態氮保存技術

對於無法以傳統低溫低濕種子庫保存的種原，如果樹與營養繁殖作物，液



圖一、美國國家植物種原系統 (NPGS) 的地理位置分布。(圖片來源：Volk Gayle et al., 2023 Safeguarding plant genetic resources in the United States during global climate change. Crop Science. 63. 10.1002/csc2.21003.)

圖二、美國柯羅拉多州科林斯堡 (Fort Collins) 國家遺傳資源保存實驗室 (NLGRP) 的種子儲藏庫。

態氮超低溫保存是一種安全且可長期維持遺傳資源的策略，可減少田間保存所花費的空間與人力，且降低病蟲害等環境因素的植株損失。然而，其技術門檻較高，需投入相應的技術研發與設備資源。超低溫保存的遺傳材料包括種子、花粉、組織培養體、休眠芽及莖頂分生組織。為操作便利及避免交叉污染，材料大多保存於氣相 (vapor phase) 液態氮 (-165℃至-196℃) (圖四)。

對於需要異株授粉的作物，當品系間開花期不一致時，可藉由保存花粉來進行授粉，相較於某些需要特殊處理的種子或培植體，耐乾燥的花粉較易進行超低溫保存，無須額外預處理。然部分種子（如異儲型種子）與某些組織樣本則需特殊冷卻與保護措施，以確保細胞完整性。然某些植物如小麥，其花粉因無法忍受乾燥環境則無法以超低溫方式保存。目前NLGRP保存花粉的作物包括山核桃 (pecan)、椰棗 (date palm)及李屬 (Prunus tree)作物。花粉由含苞的花中採集、分離並乾燥，其最佳含水量因物種而異，為維持活力，所有處理需於3天內完成。進行花粉活力檢測時，將花粉由液態氮取出，置於相對濕度98%-100%環境中4小時，再轉移至培養基並以鋁箔紙包覆，於室溫靜置一夜，隔日再透過顯微鏡觀察花粉管生長情形，評估其活力。

休眠芽的部分，目前NLGRP保存品系最多的為蘋果。於冬季時，由田間果樹上剪取休眠枝條，切分為約3.5公分的小段，乾燥至含水量25%-30%，再包裝至聚烯烴管 (polyolefin tubes) 中，以每小時1℃的速率由-5℃冷卻降至-30℃，

圖三、種子檢測及發芽試驗，包含種子乾燥室 (上左)、發芽室 (上右)、紙上法 (下左) 及TZ法染色 (下右)。

圖四、液態氮保存設施及材料，包含液態氮桶 (上)、液態氮儲存槽 (下左)、莖頂分生組織 (下中) 及休眠芽 (下右)。

並於-30℃維持24小時，隨後轉移至氣相液態氮中長期保存。休眠芽的活力評估方式為，將休眠芽由液態氮取出，置於-5℃冰箱回溫24小時，轉移至潮濕的泥炭苔中培養14至21天，再之嫁接至砧木上，觀察恢復情況及存活率。

種子的部分，由於中間型種子(intermediate seeds)及異儲型種子(recalcitrant seeds)對乾燥敏感，壽命較短，無法於傳統的種子庫內長期保存。為解決此問題，NLGRP 開發了胚體等、組織體與種子等材料的超低溫保存技術，藉由緩慢降溫與抗凍劑預處理，防止低溫保存時細胞內冰晶形成，降低損傷並維持種子活力。

四、種原資料庫與線上知識學習系統

NPGS主要使用種原資源資訊網絡(The Germplasm Resources Information Network, GRIN) (https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/search) 作為其核心種原資料庫系統。GRIN 提供完整的種原資訊，包括基本資料、分類學資訊、性狀數據、圖片等，並允許將查詢結果匯出為報表GRIN-Global是GRIN的全球擴展版本，是由全球作物多樣性信託基金(Global Crop Diversity Trust)、國際生物多樣性組織 (Bioversity International)與美國農業部農業研究署 (USDA-ARS) 共同開發，免費開放提供給其他種原庫使用。該系統於Windows環境運行，使用者可直接編輯資料，無需額外寫程式碼。除對外提供種原查詢功能外，對內亦整合庫存管理系統，方便管理人員監測種原狀態、更新數據並維護庫存紀錄，並具有豐富的教育訓練資源，可供新進管理人員或新使用者學習。

種原的保存與管理涉及廣泛的專業知識，並需透過系統化的培訓與經驗傳承，以確保在人員更替時，專業技能妥善傳遞。為此，NPGS開發了GRIN-U(https://grin-u.org/)線上學習平臺，提供全球種原管理人員免費的學習資源。GRIN-U以多樣化的學習方式 (如文章、影片、電子書、手冊及線上課程) 傳遞種原保存、種子品質檢測、超低溫保存技術、作物學、病蟲害管理、氣候變遷與育種等知識。此學習平臺為全球種原保存專業人才的培育提供了強大的支持，確保種原管理的知識傳承。

五、種原繁殖與種子成分分析

本次參訪另一個單位為PGRCU，該單位負責美國南部地區的種原保存工作，業務範圍包括種原收集、保存、繁殖、分贈、特性評估、發芽率檢測、種子精選與乾燥等。PGRCU的種原保存設施包含種子儲存設施、組織培養實驗室、發芽實驗室與特性調查實驗室，此外，田間也進行種原繁殖，繁殖作物涵蓋豆科、茄科、葫蘆科等，平均每年繁殖約2,700個品系。在種原繁殖部分，本次觀摩了豇豆與綠豆的種原繁殖。由於豇豆為蔓性作物，生長勢強容易向外擴展，若不同品系相鄰種植，可能會發生纏繞與混雜。因此，PGRCU 採取在豇豆品系間穿插種植綠豆的方式，利用綠

豆較為直立、不易蔓生的特性，作為自然隔離帶，以降低豇豆品系間的混雜風險，確保種原純度。在菎麻的種原繁殖上，則透過在品系間種植太陽麻 (Sunn hemp) 來進行隔離，以防止基因混雜。

PGRCU的溫室主要用於保存野生近緣種、草類作物及田間繁殖困難的品系。同時，PGRCU也開發了垂直式水耕系統，用於蔬菜種原的繁殖，提升繁殖效率並節省空間。至於甘藷主要採用組織培養方式進行保存，以確保種原的長期穩定性。

本次參訪也觀摩了Byron研究站的果樹與核果類作物種原保存，研究人員特別向我們介紹他們的竹子種原收集系。目前該站保存92個竹子品系，涵蓋11屬、44個物種，主要以熱帶品種為主，並包含少數溫帶品種 (圖五)。雖然竹子並非美國農業主流利用的物種，且原生種有限，但其仍系統性的建立具規模且多樣性的竹子種原庫。反映了美國在種原收集與保存上的前瞻性與完整性。

圖五、田間繁殖豇豆及綠豆 (上左)、溫室以盆栽繁殖野生種花生 (下右)、田間繁殖菎麻及竹子田間保存 (下左)。

在特性評估方面，PGRCU建立了一套種子成分分析系統，可分析種子的蛋白質、碳水化合物及油脂含量。例如，在花生的成分分析中，發現遺傳背景差異大的高油酸花生品系，這些品系可提供育種計畫更多的選擇，進一步提升新品種的多樣性。

六、結語

本次訪問美國國家植物種原系統 (NPGS)，不僅深入了解其標準化管理流程與保存技術，也建立了雙方良好的溝通管道。NPGS根據不同作物特性，採取多元保存策略，其中超低溫技術對於中間型、異儲型及無性繁殖作物的長期保存尤為重要。然而，該技術在我國仍較為缺乏，未來在氣候變遷、病蟲害威脅與管理成本考量下，將是值得推動的方向，特別適用於國內果樹種原的保存。

種原是所有農業研究與育種的基礎，但全球種原庫普遍面臨人力與經費不足、種子老化等挑戰。透過本次參訪，我們得以借鑒NPGS的運作模式，強化保存技術與管理效能，期望未來能持續深化合作，交流經驗，共同守護人類的希望種子。